А. И. Зиньковский

Радиотехника и космические полеты



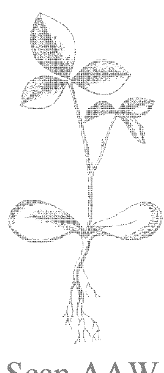
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 388

А. И. ЗИНЬКОВСКИЙ

РАДИОТЕХНИКА И КОСМИЧЕСКИЕ ПОЛЕТЫ







ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1960 ЛЕНИНГРАД

В брошюре в доступной широкому кругу читателей форме изложены краткие сведения о космосе и освещены основные проблемы космической радиосвязи (выбор длины волны, создание антенных, передающих и приемных устройств). Приводятся данные о современном состоянии и путях дальнейшего развития космической радиосвязи.

СОДЕРЖАНИЕ

Автор *Зиньковский Абрам Исаакович*

РАДИОТЕХНИКА И КОСМИЧЕСКИЕ ПОЛЕТЫ

Редактор *А. М. Пилтакян* Техн. редактор *Н. И. Борунов*

Сдано в набор 9/VII 1960 г. Подписано к печати 27/X 1960 г
Т-13417 Бумага 82×108$^1/_{32}$ 2,46 печ. л. Уч.-изд. л. 3
Тираж 38 000 экз. Зак. 2352.
Цена 1 р. 20 к. (с 1/I 1961 г. цена 12 коп.).

Типография Госэнергоиздата. Москва, шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Еще в очень глубокой древности человек, наблюдая усеянное бесчисленными звездами небо, стремился познать тайны Вселенной. Свои мечты о полетах к Солнцу и отдаленным звездам он осуществлял лишь в легендах, мифах и сказках.

Шло время, одна тысяча оборотов Земли вокруг Солнца сменялась другой, изменялась картина созвездий и все быстрее и быстрее развивалось познание человеком законов окружающей его Природы.

Набирался сил человек, и настал, наконец, такой момент, когда он смог вступить в единоборство с притяжением Земли.

Это произошло в исторический день 4 октября 1957 г. Впервые в мире советскими людьми был осуществлен героический подвиг — запуск искусственного спутника Земли.

Человечество вступило в новую эру — эру освоения космического пространства! Дерзновенная мечта осуществилась!

На первом искусственном небесном теле, совершавшем за полтора часа облет вокруг Земли, были установлены радиопередатчики, сигналы которых могли принимать радиолюбители всего мира.

Темпы развития науки и техники в наше время так велики, что уже через 15 мес. после запуска первого искусственного спутника Земли солнечная система пополнилась искусственной планетой, впервые созданной и на этот раз советскими людьми.

Теперь уже триумф радиотехники был особенно велик — впервые в истории радиотехники была осуществлена радиосвязь на дальность в 500 000 *км*!

12—14 сентября 1959 г. был совершен первый успешный космический перелет с Земли на Луну. Мощная ракета доставила туда вымпел с гербом нашей Родины.

4 октября 1959 г. вышла на орбиту вокруг Луны советская межпланетная автоматическая станция, которая сфотографировала и передала на Землю фотографии обратной стороны Луны.

15 мая 1960 г. был запущен космический корабль-спутник, а 19 августа — второй советский космический корабль весом 4 600 *кг* с подопытными животными, который на другой день по команде с Земли благополучно приземлился в намеченном месте.

Таковы уверенные шаги советского человека в космос.

В грандиозном деле овладения космосом одно из первых мест принадлежит радиотехнике и электронике. Успехи этих наук будут способствовать успехам космических полетов, а потребности, выдвигаемые космическими полетами, будут в свою очередь стимулировать еще более бурный расцвет радиотехники и электроники (и, конечно, других областей знания).

Для успешного решения только радиотехнических задач необходимо проделать гигантскую работу не только радиоспециалистам, но и работникам многих отраслей науки и техники.

Если полет человека в пределах солнечной системы можно считать делом ближайшего будущего и он может быть обеспечен необходимыми радиосредствами, то полеты к соседним звездам и обеспечение их связью на такие огромные расстояния представляют собой весьма сложную проблему. До ближайшей звезды Проксима, расположенной в созвездии Центавра, примерно $4 \cdot 10^{13}$ *км*. Это расстояние так велико, что свет и электромагнитные радиоволны, распространяясь со скоростью 300 000 *км/сек*, от Проксимы до Земли доходят через 4,27 года. Иными словами, на двусторонний обмен радиограммами между кораблем, долетевшим до района звезды Проксима, и Землей уйдет 8,54 года!

Радиосвязь, в условиях Земли представляющая собой почти мгновенно действующее средство (даже до Луны радиосигнал доходит через 1,27 *сек*), для космических масштабов становится медленным, неоперативным средством связи.

Современная наука, используя принцип относительности, безоговорочно утверждает, что скорость распространения

света и электромагнитных волн — это предельная скорость в природе. Поэтому нет оснований предполагать, что благодаря прогрессу техники в будущем будут найдены какие-то новые виды излучений, способных распространяться со скоростью, большей, чем 300 000 *км/сек*. Как будет разрешаться проблема неоперативности связи, покажет будущее.

1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О КОСМОСЕ

Звездное небо Земли опоясано широкой дорогой — Млечным путем, представляющим собой систему звезд, к которой принадлежит наше Солнце. Млечный путь получил еще и другое название — Галактика, ставшее нарицательным. Галактик во Вселенной — неисчислимое множество. На фотографии площадки неба в один квадратный градус, полученной с помощью современного мощного телескопа, можно подсчитать до нескольких тысяч галактик!

Каждая галактика — это скопление огромного количества разнообразных звезд. Так, в нашей Галактике количество звезд составляет приблизительно 150 млрд.

Звезды в Галактике расположены друг относительно друга на чрезвычайно больших расстояниях.

Как уже указывалось выше, свет от ближайшей к нам звезды Проксима доходит до Земли лишь через 4,27 года.

Солнечная система в сравнении с межзвездными расстояниями очень мала, свет от Солнца доходит до крайней из планет солнечной системы Плутона всего лишь за 5 *ч.* 30 *мин.*

Помимо раскаленных самосветящихся звезд и блещущих отраженным светом планет, во Вселенной имеется множество иных разнообразных форм материи, таких, как малые планеты-астероиды, кометы, метеоры, межзвездный газ и межзвездная пыль. Вселенная пронизывается бесчисленным разнообразием электромагнитных и корпускулярных излучений, отчасти попадающих и на нашу Землю.

Межзвездное пространство заполнено рассеянной материей, не обладающей собственным свечением и при относительно большом скоплении заслоняющей подчас целые участки звездного неба. Наблюдаемые с Земли темные туманности гигантской протяженности представляют собой пылевые облака с очень большим разрежением. Помимо межзвездной пыли, межзвездное пространство заполнено газами, в составе которых обнаружены кальций, натрий, кислород, водород и др.

Плотность межзвездного газа чрезвычайно мала, но атомы водорода образуют большое количество свободных электронов, которые изменяют условия распространения радиоволн. В каждом кубическом сантиметре межпланетной среды содержатся в среднем 3—4 атома водорода, а в водородных облаках концентрация увеличивается в десятки раз. Таким образом, можно говорить о том, что при организации космической радиосвязи придется, вероятно, столкнуться с влиянием своеобразных межзвездных ионосфер на распространение радиоволн.

Теперь уже известно, что ионосферы, подобные земной или даже с еще более высокой электронной концентрацией, имеются у некоторых других планет солнечной системы и, конечно, будут встречаться в атмосферах планет других звездных миров.

Данных о космическом пространстве у нас еще очень мало, и несомненно, что в межпланетном и межзвездном пространстве могут встретиться самые неожиданные препятствия как для космических кораблей, так и для электромагнитных излучений.

Яркой иллюстрацией того, какие неожиданности могут встретиться в космическом пространстве, служит факт открытия во время Международного геофизического года (МГГ) с помощью искусственных спутников и космических ракет зон повышенной концентрации заряженных частиц в непосредственной близости от Земли. Это открытие было одним из самых неожиданных событий МГГ.

Оказалось, что Земля окружена своеобразным ореолом — поясами, в которых сконцентрировано множество быстрых электронов и протонов. Лишь в приполярных зонах имеются просветы, обусловленные формой магнитных силовых линий магнитного поля Земли.

Следует иметь в виду, что космические корабли должны будут пролетать сквозь эти пояса, интенсивность радиации в которых может оказать вредное воздействие как на человека, так и на различные материалы и приборы, в частности на полупроводниковые.

На рис. 1 приведено поперечное сечение поясов радиации. Расстояния даны от центра Земли. Цифры на кривых указывают на число срабатываний счетчиков заряженных элементарных частиц. Внутри заштрихованных поясов максимальная интенсивность достигает 25 000 срабатываний в секунду, что эквивалентно 40 000 частиц, пронизывающих площадку в 1 *см*^{2} за 1 *сек*.

Организация космической радиосвязи потребует знания основных параметров, характеризующих взаимное расположение как Земли и места назначения космического корабля, так и особенно самого места назначения. Естествен-

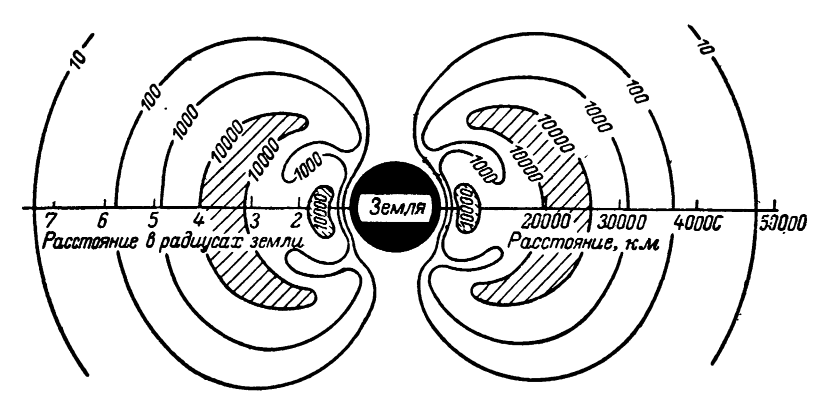


Рис. 1. Поперечное сечение поясов повышенной радиации, названных „ореолом" Земли.

но, что с этих точек зрения лучше всего мы знаем нашу планетную систему. Хотя сведения о ней далеко еще не полные, но благодаря многовековой деятельности астрономов уже теперь накоплены некоторые весьма важные данные. В табл. 1 приведена сводка этих данных.

Таблица 1

Параметры, характеризующие планетную систему Солнца

Название планеты	Расстояние от Земли, млн. *км*		Среднее расстояние от Солнца, млн. *км*	Среднее время на проведение односторонней радиосвязи с Земли	Максимальная температура поверхности, °С	Период обращения вокруг Солнца
	мин.	макс.				
Меркурий	77	220	58	8 *мин*	+400	88 дней
Венера	38	260	107	8 „	+94	225 „
Земля	—	—	149	—	+60	365 „
Марс	56	400	228	13 *мин*	+30	687 „
Юпитер	585	960	775	45 „	—129	11,9 года
Сатурн	1 180	1 650	1 420	1 *ч* 12 „	—152	29,5 „
Уран	2 570	3 140	2 870	2 „ 40 „	—168	84 „
Нептун	4 300	4 670	4 500	4 „ 10 „	—200	165 лет
Плутон	4 250	7 500	5 900	5 „ 30 „	—223	248 „

Табл. 1 со всей наглядностью показывает, с каким разнообразием факторов встретится человек при организации радиосвязи в пределах солнечной системы. Не говоря уже о различиях в расстояниях, во времени, необходимом на проведение односторонней радиосвязи, конструктор радиоаппаратуры встретится с весьма различными внешними воздействиями температуры, состава атмосфер планет, силы тяжести и т. п.

При разработке радиоаппаратуры, призванной бесперебойно работать на борту космического корабля, следует

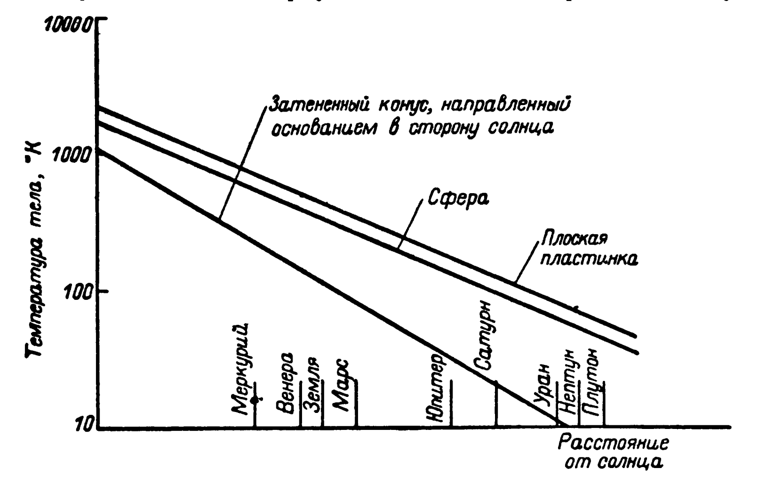


Рис. 2. Зависимость температуры, до которой нагреется черное или серое тело различной формы, помещенное в различных точках солнечной системы.

учесть, что всякое тело, находясь за пределами атмосферы, будет нагреваться солнечными лучами. Так, например, черное тело, очутившееся вне земной атмосферы, может нагреться до 300—400 градусов Кельвина (по шкале Кельвина нулю градусов шкалы Цельсия соответствуют 273° К).

Вблизи таких планет, как Венера, температура может превысить допустимый для современной радиоаппаратуры предел. Наоборот, вдали от Солнца температура может стать недопустимо низкой.

На рис. 2 приведена по зарубежным данным зависимость температуры, достигаемой в космическом пространстве черным или серым телом различной формы, в различных точках солнечной системы.

Для уяснения того, сколь опасными могут быть те или иные величины для надежной работы радиоаппаратуры, приведем предельно допустимые температуры, характерные для различных узлов и деталей радиоаппаратуры и вспомогательного оборудования, выраженные в градусах Цельсия:

Полупроводниковые приборы	75
Лампы, обнаруживающие излучение	100
Селеновые полупроводниковые приборы	125
Реле	125
Кремниевые полупроводниковые приборы	200
Потенциометры	200
Батареи	225
Генераторы переменного тока	250
Конденсаторы	500
Изолированный провод	500
Серводвигатели переменного тока	500
Трансформаторы	500
Контуры	550
Радиолампы	600

Здесь указаны предельные температуры для современных, специально разработанных за границей узлов и деталей.

Из сопоставления приведенных данных следует, что в зависимости от маршрута космического корабля придется радиоаппаратуру, установленную на нем, охлаждать либо нагревать.

2. РАДИОТЕХНИКА И КОСМИЧЕСКИЕ ПОЛЕТЫ

Радиотехника давно используется для исследования радиоизлучений Солнца, межзвездного газа и других космических объектов.

Огромный, трудно оценимый вклад в космическую радиотехнику внесла радиоастрономия. И это неслучайно. Ведь радиоастрономическая станция — это прототип приемного пункта космической радиолинии. Радиоастрономические приемные пункты — радиотелескопы—представляют собой очень чувствительные радиоприемники, работающие от больших антенн. Радиотелескоп рассчитан на прием очень слабых сигналов, приходящих из космоса. Таким образом, уже до первых пусков космических кораблей радиотехника располагала опытом приема с колоссальных расстояний.

В 1946 г. было сообщено о первой своеобразной двусторонней связи с Луной. Мофенсоном (США) было полу-

чено радиолокационное эхо от поверхности Луны. Радиолокационная станция, работавшая на частоте 111,5 *Мгц*, послала трехкиловаттный импульс длительностью 0,25 *сек* в сторону Луны, и почти через 2,5 *сек* на Землю пришел отраженный от поверхности Луны сигнал. Это был первый радиосигнал, полученный из космоса в результате сознательной деятельности человека. Почти одновременно с американцами получили радиоотражение от Луны работники Горьковского университета.

Впоследствии радиолокацией Луны занимались многие исследователи, получавшие отраженные сигналы на самых различных частотах от 20 до 3 000 *Мгц*. Эти работы легли теми кирпичами, из которых складывался фундамент космической радиотехники.

Эра космических полетов уже началась, но пока в космос стартуют автоматические, управляемые с Земли ракеты; люди еще только провожают их взглядом, полным надежды на то, что наступит и такой день, когда первый космонавт, затянутый в противоперегрузочный костюм, займет свое место в корабле.

Но при полете с космическими скоростями, которые уже освоены или будут освоены в ближайшие несколько лет, приходится считаться с возможностями человеческого организма в отношении скорости реакции на поступающие извне сигналы. Допустим, например, что радиолокатор космического корабля обнаружил метеор всего лишь за секунду до возможного столкновения с ним. Если за это время корабль не изменит курса, то катастрофа неизбежна. Но что может сделать человек за столь короткое время? Ведь после появления сигнала об опасности до возникновения двигательного импульса, за счет которого будет приведена в действие система управления, пройдет время порядка полусекунды. А если надо вдобавок приложить мускульную силу, то на это потребуется еще около полутора секунд.

Ясно, что на борту космического корабля должны быть установлены автоматические быстродействующие устройства, которые после получения сигнала об опасности со скоростями, уже присущими современным электронным счетным машинам, примут определенное решение и выдадут команду быстродействующим исполнительным органам. Трудно себе представить, чтобы решение такой задачи обошлось без самого широкого использования радиотехники.

Появление человека на борту космического корабля за-

ставит ограничить ускорения, поскольку человеческий организм не в состоянии выносить длительное воздействие больших ускорений. Человек может выдержать ускорение, равное трем земным, в течение 100 *сек*, равное десяти земным — в течение 10 *сек*, а равное 30 земным — всего лишь в течение 0,1 *сек*.

Обитаемый космический корабль потребует принятия весьма эффективных мер, обеспечивающих надежную защиту корабля от метеоров, от внешних и внутренних источников проникающей радиации.

В ближайшее время, когда человек начнет летать в космос, он, несомненно, уже застанет на борту ядерные источники электроэнергии. В этом случае возникнут свои трудности. Если при отсутствии биологической защиты можно сконструировать ядерный источник электроэнергии с приемлемыми малым весом и габаритами, то биологическая защита потребует увеличения и веса и габаритов ядерных источников питания.

Наконец, появление на космическом корабле человека неизмеримо повысит требования к связным устройствам. Желательно будет иметь двустороннюю телефонную связь с Землей. Это позволило бы передавать информацию на корабль и с него, обеспечивая, кроме того, психологические преимущества для пилота, ослабив в значительной степени состояние одиночества и оторванности от Земли.

3. ВЫБОР ДЛИНЫ ВОЛНЫ ЛИНИИ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОСВЯЗИ

Прежде чем говорить о радиоаппаратуре, которая войдет в состав космической радиолинии того или иного назначения, об источниках питания и антеннах, надо, естественно, обосновать выбор длины волны.

Для решения несравненно более простой задачи—обеспечения связью в пределах Земного шара, приходится тщательно учитывать ряд сложных, противоречивых факторов и первым из них являются особенности распространения радиоволн в атмосфере.

Радиолюбителям-коротковолновикам хорошо известен тот факт, что в десятиметровом диапазоне с передатчиком мощностью всего лишь 10—20 *вт* можно перекрыть максимальное на Земле расстояние, тогда как на более длинных волнах такая дальняя связь может оказаться вообще невозможной независимо от мощности передатчика. Хорошо

также известны факты возникновения «мертвых зон», когда из-за особенностей отражений коротких радиоволн от ионосферы радиостанцию не слышно на близких расстояниях, но хорошо слышно на более далеких.

Умелым выбором длины радиоволн можно получить связь с тем районом, который на других волнах попал бы в мертвую зону.

Если для наземной радиосвязи приходится учитывать свойства только одной земной атмосферы, то в случае связи с космическим кораблем придется учитывать также свойства межпланетного пространства и свойства атмосфер и ионосфер планет—конечных пунктов назначения космического корабля.

В жизни нашей планеты атмосфера играет очень важную роль. На рис. 3 приведено строение атмосферы Земли.

Нижний слой атмосферы — тропосфера — является областью, где происходят основные метеорологические явления. Тропосфера простирается до 10—12 *км.*

В компактном слое озона, так называемом озоновом экране, расположенном на высоте 25—30 *км*, поглощается значительная часть губительной для всего живого ультрафиолетовой части излучения Солнца. Слои атмосферы, расположенные выше 40 *км*, интенсивно поглощают космические лучи, а еще более высокие слои атмосферы, расположенные на высотах, превышающих 100 *км*, экранируют поверхность Земли от рентгеновых лучей.

Метеорные потоки также гасятся атмосферой, сгорая примерно на высотах 70—100 *км*.

Таким образом, атмосфера играет роль естественной биологической защиты, охраняющей жизнь на Земле от всевозможных излучений как электромагнитных, так и корпускулярных, проникающих из космического пространства.

В верхних слоях атмосферы под влиянием ультрафиолетовых лучей Солнца из молекул и атомов газов выбиваются один или несколько электронов. Появляются свободные электроны и ионизированные атомы и молекулы. Вот почему верхние слои атмосферы получили название ионосферы. На высотах 300—400 *км* электронная концентрация достигает своего максимального значения.

Ионосфера оказывает чрезвычайно сильное воздействие на распространение радиоволн, особенно коротких, и на протяжении десятков лет является предметом самого тщательного изучения. Но до последнего времени ее изучение с поверхности Земли не могло быть полным, поскольку

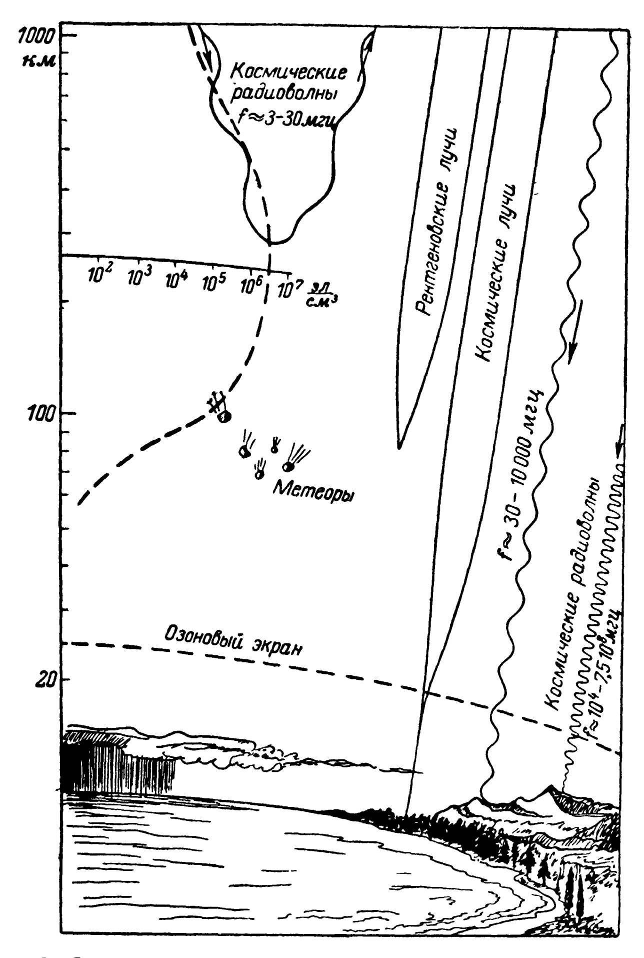


Рис. 3. Строение атмосферы Земли, защитное действие различных ее слоев, характер проникновения космических радиоволн сквозь атмосферу.

зондированием с Земли невозможно узнать о том, что происходит выше слоя максимальной ионизации, так как зондирующий луч ионосферной станции отражается от него, не проникая выше.

Только начиная с 1957 г., благодаря усилиям советских ученых, осуществивших ряд замечательных экспериментов по изучению самых верхних слоев атмосферы и космического пространства с помощью высотных ракет и искусствен-

ных спутников Земли, представление об ионосфере расширилось. Выяснилось, что далеко за пределами атмосферы на всем пространстве между Землей и Луной имеются протоны и атомы водорода, причем количество таких частиц может достигать сотен и тысяч в кубическом сантиметре. Можно предположить, что там имеется примерно такое же количество свободных электронов.

На рис. 3 слева пунктиром изображено распределение концентрации электронов в зависимости от высоты над поверхностью Земли.

Из рисунка видно, что Земля окружена толстым слоем ионизированного газа, где концентрация достигает миллионов электронов в кубическом сантиметре. Именно от концентрации свободных электронов и зависит в первую очередь влияние ионосферы на распространение радиоволн в пределах Земного шара, как и на их прохождение сквозь всю толщу атмосферы.

Когда радиоволна падает на ионизированный слой, то наиболее подвижные частицы—свободные электроны—приходят в колебательное движение в такт с изменением частоты колебаний электромагнитного поля. При этом они сталкиваются с другими частицами, вследствие чего часть энергии, почерпнутой из электромагнитной волны, рассеивается, переходя в тепло. Так возникает поглощение радиоволн.

Суммарные потери энергии на единицу пути определяются главным образом частотой колебаний падающей волны, концентрацией свободных электронов и средним числом столкновений каждого электрона в секунду.

Ионосфера не только поглощает радиоволны, но и отражает их. Колеблющиеся под воздействием падающего поля электроны сами превращаются во вторичные излучатели, возбуждающие электромагнитные волны.

Практика радиосвязи и исследования показали, что атмосферу нельзя считать полностью прозрачной для радиоволн. То же самое относится и к оптической части спектра электромагнитных колебаний.

Если посмотреть на небо в ясную ночь, то воздух покажется очень прозрачным; мы хорошо видим Луну и другие небесные тела. Но оказывается, что это обусловлено существованием довольно узкого «оптического окна» прозрачности, пропускающего лишь небольшую часть всего спектра электромагнитных волн.

Кроме оптического окна, существует «радиоокно», которое простирается от волн длиной 1 *см* до волн длиной 10—45 *м*, что соответствует частотам от 30 000 до 30—7 *Мгц*. Верхний предел частот, пропускаемых атмосферой, зависит от состава атмосферы, а нижний — от электронной концентрации в ионосфере.

На рис. 4 приведен весь спектр электромагнитных колебаний с двумя окнами прозрачности.

Таким образом, свойства земной атмосферы ограничивают область применимых для связи длин волн. Может по-

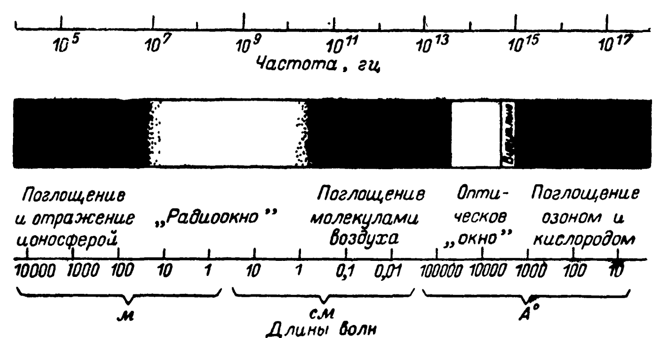


Рис. 4. „Окна прозрачности" в атмосфере Земли. На рисунке приведен весь спектр электромагнитных волн. Бóльшая часть излучений не проникает сквозь атмосферу, а поглощается и отражается различными ее слоями.

казаться, что преодоление атмосферного барьера для организации космической связи — надуманная трудность: достаточно создать искусственный спутник Земли и оборудовать его трансляционной станцией, которая скомпенсирует потери в атмосфере. Но это не является решением задачи, поскольку атмосфера и, в частности, ионосфера имеются не только на Земле, но и на других планетах.

Длину рабочей волны надо выбирать в области «радиоокна», причем необходимо по возможности подробнее знать свойства атмосферы планеты — станции назначения.

Воздействие ионосферы на распространение радиоволн не ограничивается только одними эффектами отражения и поглощения. Вследствие существования магнитного поля Земли возникает эффект поворота плоскости поляризации электромагнитной волны (так называемый эффект Фарадея). Если антенны имеют линейную поляризацию, то плоскость поляризации пришедшей после прохождения сквозь

ионосферу волны не совпадает с плоскостью поляризации приемной антенны, а будет повернута на некоторый случайно изменяющийся во времени угол. Эффект Фарадея будет тем сильнее, чем ниже частота колебаний. На частотах ниже 100 *Мгц* им уже нельзя пренебрегать, и надо либо учесть поляризационные потери, либо делать антенну с круговой поляризацией, что связано с дополнительным усложнением антенны, а также с потерей половины мощности передатчика.

Из сказанного следует, что с точки зрения свойств земной атмосферы наиболее приемлемыми нижним и верхним пределами рабочего диапазона следует считать частоты 100—10 000 *Мгц*. (В зависимости от конкретной задачи указанные пределы могут несколько расширяться или сужаться.)

При выборе частот ниже 100 *Мгц* будут велики поляризационные потери, а также поглощение и отражение ионосферой. При выборе частот выше 10 000 *Мгц* будет ослабление сигнала из-за поглощения и отражения радиоволн от паров и капель воды, содержащейся в тропосфере.

Космическое радиоизлучение. Космос сверкает не только бесчисленными звездами, шлет не только световые сигналы, но также и хаотические радиосигналы. Космическое радиоизлучение впервые было обнаружено в 1931 г. Янским (США). Как выяснилось впоследствии, это было радиоизлучение, идущее из центра Галактики. В 1944 г. было открыто радиоизлучение Солнца. Теперь установлено, что из космоса приходят радиосигналы в очень широком диапазоне частот, границы которого еще не установлены из-за упомянутых выше свойств атмосферы Земли.

Итак, данные радиоастрономии говорят о том, что межпланетное и межзвездное пространство заполнено не только световыми, но и радиочастотными волнами, льющимися нескончаемым потоком со всех сторон. Космическое радиоизлучение будет источником помех для приемных устройств космических кораблей. При современном состоянии приемной техники уровень космических шумов в случае применения направленной приемной антенны может превысить собственные шумы приемника и, таким образом, явиться фактором, ограничивающим увеличение дальности действия радиолинии.

При выборе длины волны надо учитывать, что чем короче длина волны, тем меньше мощность космических шумов.

Выше говорилось о выборе длины волны для линии радиосвязи Земля — космический корабль. Но, кроме такой линии, для успешного космического полета необходимо создать еще и другие радиолинии. Для связи между космическими кораблями или между космическим кораблем и космической станцией, такой, например, как искусственный спутник планеты, можно использовать радиоволны, не проходящие сквозь радиоокно земной атмосферы. Может оказаться, например, выгодным использовать миллиметровые радиоволны. То же самое можно сказать и о выборе длины волны радиолокационной станции, установленной на космическом корабле для защиты его от метеоров или от столкновения с другими кораблями или космическими станциями.

При выборе длины волны необходимо учитывать возможности электровакуумной техники в создании средств генерации мощных колебаний и ряд других факторов.

Таким образом для радиотехники, обслуживающей космические полеты, выбор длины волны представляет собой весьма сложную задачу.

4. АНТЕННЫ

Антенны составляют очень важную часть линии космической радиосвязи и предназначены не только для излучения и улавливания электромагнитных волн, но и для концентрации их в узкие пучки. Их можно разбить на две основные группы: бортовые и наземные.

Всякую антенну характеризуют прежде всего усиление по мощности (коэффициент направленного действия или, сокращенно, к. н. д.) и такие физические характеристики, как габариты и вес.

Современное состояние антенной техники явно не удовлетворяет потребностей будущих космических полетов. Самое основное противоречие состоит в том, что антенна должна давать высокое усиление при сравнительно небольшой направленности, т. е. при широком пучке радиоволн.

Дело в том, что для всех известных типов антенн характерным является один и тот же закон: чем больше усиление, тем уже пучок радиоволн антенна излучает или принимает. Для связи космического корабля с Землей или другой базой необходимо применять антенны с большим усилением. Но получающийся при этом узкий пучок радиоволн приведет к тому, что для успешного «нацеливания»

бортовой антенны потребуется стабилизация ее в пространстве. Приемная антенна на Земле тоже получается узконаправленной и требует точного наведения.

Итак, достижение большого усиления, всенаправленности и небольших размеров находятся в непримиримом противоречии. Современная антенная техника не дает ответа, как разрешить это противоречие. Но не будем строить догадок о будущем антенной техники. Можно лишь сказать, что будут делаться попытки найти решение этой задачи.

Если говорить о линии связи с Землей, то необходимо, чтобы при всех изменениях расположения корабля относительно Земли излучаемый антенной пучок радиоволн был направлен на Землю. Для решения такой задачи потребуются дополнительные устройства, осуществляющие стабилизацию антенны в пространстве и наводящие ее на Землю, а это усложнит бортовую аппаратуру, увеличит ее вес и габариты.

При полете в межпланетном или межзвездном пространстве вдали от массивных тел будет наблюдаться состояние невесомости или будет действовать в случае управляемого полета человека небольшое ускорение. При полетах в условиях невесомости потребуется меньше усилий на автоматическое слежение больших антенн.

Бортовые антенны запускаемых ныне космических ракет еще очень просты и имеют небольшое усиление. Это, как правило, дипольные штыревые антенны, длина которых составляет примерно половину длины волны. Применяются и спиральные антенны.

По мере увеличения подъемной силы ракет, запускаемых в космическое пространство, будут увеличиваться размеры и вес бортовых антенн.

В современной антенной практике нашли применение надувные антенны, представляющие собой стекловолокнистые оболочки, металлизированные порошкообразным алюминием. При эксплуатации оболочка надувается каким-либо подходящим газом и принимает форму полусферы. Возможно, что надувные антенны будут применяться и на космических кораблях.

Если в части создания бортовых антенн космического корабля нет еще достаточного опыта, то дело создания наземных антенн, призванных обслуживать космические полеты, оказалось в значительно более благоприятных условиях. Бурное развитие радиоастрономии, потребности дальнего радиолокационного обнаружения и радиосвязи с использо-

ванием эффекта дальнего тропосферного распространения УКВ способствовали разработке и постройке огромных антенн как подвижных, так и неподвижных.

Величайшая из современных подвижных антенн—антенна радиотелескопа, установленного в Джодрелл Бэнк (Англия), — имеет параболическое зеркало диаметром 73 *м*.

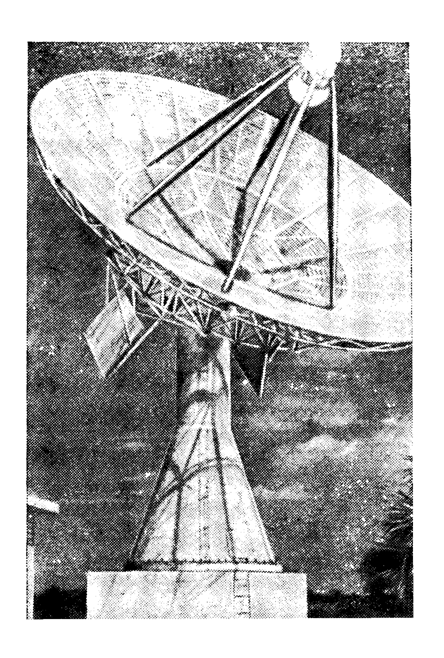


Рис. 5. Антенна, автоматически сопровождающая космический корабль со скоростью свыше 7° в секунду.

Трудности создания таких антенн огромны. Достаточно отметить, что форма рефлектора должна быть выполнена с точностью, лучшей, чем $^1/_{16}$ длины волны. Для достаточно распространенной антенны с диаметром рефлектора 18 *м*, работающей на частоте 2 000 *Мгц* (длина волны 15 *см*), необходим допуск ±0,9 *мм*. При изготовлении некоторых деталей антенны и поворотного устройства приходится выдерживать их размеры в допусках порядка 2 *мк*.

На рис. 5 приведена фотография антенны с параболическим зеркалом диаметром 18 *м* (США).

Из неподвижных антенн следует отметить оригинальную антенну Пулковской обсерватории, зеркало которой имеет размеры в горизонтальном направлении 120 *м*, а в вертикальном — 3 *м*. Эта антенна способна принимать космическое радиоизлучение даже на волне 3 *см* (а ведь с укорочением длины волны повышаются требования к точности изготовления антенны).

К наземным антеннам предъявляются те же основные требования по усилению, что и к бортовым, т. е. усиление должно быть как можно бо́льшим. Поскольку мощности наземных передатчиков уже теперь могут измеряться мегаваттами и даже десятками мегаватт, то важным требо-

ванием, предъявляемым к наземным антеннам, является способность пропускать такие огромные мощности.

Особое внимание надо уделять боковым лепесткам диаграммы излучения. Причина этого кроется в следующем. На космической линии радиосвязи будут использоваться сверхчувствительные радиоприемники, т. е. такие приемники, уровень собственных шумов которых очень низок, а это значит, что дальность действия радиолинии будет ограничиваться главным образом шумами, поступающими

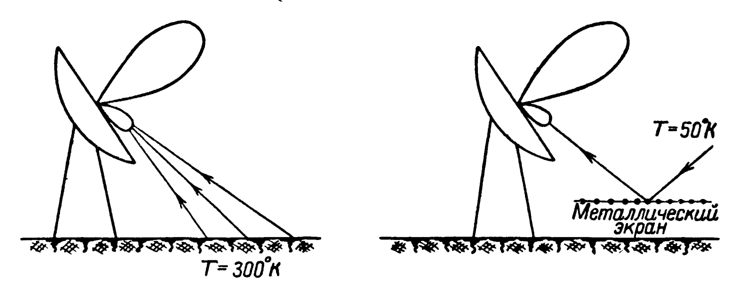


Рис. 6. Прием боковыми лепестками диаграммы антенны излучения поверхности Земли и один из способов борьбы с таким приемом. Металлический экран должен охлаждаться жидким гелием или другим подходящим охладителем.

извне. К таким шумам относятся космическое радиоизлучение и радиошумы, которые излучает сама Земля.

Ведь Земля — теплое тело, а всякое нагретое тело излучает электромагнитные волны. Поэтому в том случае, если антенна обладает боковыми лепестками, она будет принимать радиошумы Земли даже тогда, когда она будет направлена вверх.

На рис. 6 приведена диаграмма излучения антенны, которая имеет боковые лепестки. С вредным влиянием боковых лепестков можно пытаться бороться либо уменьшением их уровня, либо экранировкой от лучей, попадающих в антенну с поверхности земли.

5. ПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Космическая радиосвязь резко отличается от наземной радиосвязи прежде всего из-за гигантских расстояний. Поскольку размеры антенн, особенно бортовых, сильно ограничены, а дальность действия линии связи тем больше, чем больше мощность передатчика и усиление передающей

и приемной антенн, то приходится обращать большое внимание на повышение мощности передающего устройства. Одной из основных характеристик передатчика является мощность колебаний, направляемых в антенну.

Пока речь идет о линиях космической радиосвязи сравнительно небольшой протяженности и небольшой пропускной способности, требуемые мощности еще невелики, но когда необходимо обеспечить радиосвязь на большие расстояния и при этом передавать большое количество посылок в единицу времени, иными словами передать сложный сигнал, такой, например, как телевизионное изображение, требующаяся мощность резко возрастает.

Для иллюстрации сказанного в табл. 2 приводятся минимальные значения средних мощностей бортового передатчика, рассчитанных при условии, что на борту установлена всенаправленная антенна с усилением, равным 1, а наземный приемный пункт снабжен антенной с параболическим зеркалом площадью 10 000 *м*² (такие атенны пока еще не существуют, но могут быть изготовлены в ближайшие годы). Чувствительность наземного приемника принята обычная для современных приемников, а потери при распространении радиоволн составляют всего 10 *дб*.

Таблица 2

Минимальная средняя требуемая мощность бортового передатчика

Дальность, *км*	Мощность передатчика, *вт* при количестве посылок в секунду		
	10	10^3	10^6
$5 \cdot 10^4$ (расстояние до спутника Земли)	$4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-4}$	0,4
$5 \cdot 10^5$ (порядка расстояния до Луны)	$4 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-2}$	40
10^7 (расстояние до ближайшего астероида)	0,2	40	$2 \cdot 10^4$
10^8 (расстояние до Марса во время великого противостояния)	20	$2 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^6$

Приведенные в табл. 2 значения мощностей являются минимальными, т. е. такими, при которых предполагается идеальный прием сигналов, полная их разборчивость. Практически этого не бывает, и приходится в зависимости от конкретных условий увеличивать во много раз мощность передатчика.

Ввиду ограниченности энергетических ресурсов космического корабля важным параметром является подводимая мощность, а она может превышать излучаемую от нескольких раз до десятков и даже в некоторых случаях сотен раз.

Из таблицы видно, что для передачи простой информации, скажем телеграммы с количеством посылок 10 в секунду, даже на радиолинии Земля — Марс, с учетом к. п. д. потребуется вполне достижимая в ближайшее время подводимая мощность порядка долей или единиц киловатт. Но для передачи такой информации, как обычное телевизионное изображение, на радиолинии Земля — Марс потребовались бы огромные подводимые мощности, измеряемые десятками и сотнями мегаватт, что будет реальным, по-видимому, лишь после овладения управляемыми ядерными реакциями и после такого усовершенствования ядерных реакторов, когда они смогут быть использованы на борту космического корабля.

Бортовые передатчики космического корабля, запускаемого с Земли мощными ракетами, должны быть очень прочными и надежными в процессе длительной эксплуатации в необычных условиях и притом без надзора со стороны человека. При запуске ракет аппаратура подвергается сильной вибрации, которая способна ее разрушить. Поэтому бортовые передатчики подвергаются разным испытаниям. Так, например, спутник «Авангард» (США) подвергался испытаниям на вибрацию в диапазоне 10—2 000 *гц*, причем при испытаниях поддерживалось переменное ускорение, равное удесятеренному земному ускорению, а также на постоянное ускорение в направлении оси ракеты до 35 земных ускорений.

В современных передающих устройствах, устанавливаемых на борту космических ракет, используются известные в обычной «земной» радиотехнике электровакуумные и полупроводниковые приборы.

Конечно, стремление к использованию малогабаритных ламп и полупроводниковых триодов очень велико. На рис. 7 показана фотография радиоламп, применявшихся на американской ракете «Пионер IV», связь с которой поддерживалась до 651 000 *км*. В американской печати сообщается, что разработаны полупроводниковые триоды, генерирующие на частотах до 3 000 *Мгц*. Ближайшей перспективой считается достижение генерируемых транзисторами частот до 8 000—10 000 *Мгц*. Правда, пока возможности получения больших мощностей от полупроводниковых устройств, осо-

бенно работающих на сверхвысоких частотах (а как раз такие частоты, как мы знаем, наиболее благоприятны для организации космической радиосвязи), сильно ограничены. Ценными для бортовых устройств качествами, присущими полупроводниковым приборам, являются их долговечность и отсутствие расхода электроэнергии на накал.

Для весьма протяженных линий радиосвязи, таких, например, как линия радиосвязи с Марсом, потребуются значительные мощности, которые пока можно получать лишь от магнетронов, ламп обратной волны и т. п.

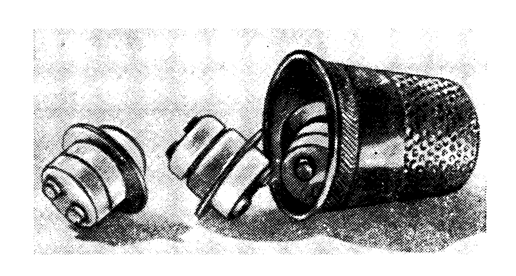


Рис. 7. Малогабаритные металло-керамические лампы, отдающие на частоте 960 *Мгц* 0,2 *вт*; диаметр и высота лампы равны 12,7 *мм*.

Дальнейшее развитие техники генерирования колебаний высокой частоты с точки зрения использования ее на космическом корабле будет протекать, по-видимому, в двух направлениях. Первое направление будет связано с усовершенствованием существующих принципов генерации и усиления колебаний, существующих электровакуумных и полупроводниковых приборов. Второе направление, которое пока еще только зарождается, будет связано с использованием естественного вакуума, существующего в космосе.

В самом деле, ведь на космическом корабле, летящем в межпланетном или межзвездном пространстве, где существует почти идеальный вакуум, где количество материальных частиц не превышает единиц на кубический сантиметр, возможным окажется сооружение безбаллонных электронных приборов невиданной конструкции.

В этой области можно ожидать небывалого качественного скачка. Если теперь мы тщательно изолируем электро-

вакуумные приборы от внешней среды, «враждебной» земной атмосфере, то на космическом корабле, наоборот, мы будем стремиться к обеспечению наиболее тесного контакта с внешней «благоприятной» средой.

Используя современные средства достижения глубокого вакуума, обеспечивающего разрежение порядка 10^{-7} *мм рт. ст.*, мы должны иметь в виду, что в каждом кубическом сантиметре объема, ограниченного баллоном, содержатся миллиарды молекул различных газов, а в межпланетном и межзвездном пространстве в кубическом сантиметре содержатся три-четыре молекулы.

Можно представить себе, что на космическом корабле будут установлены передатчики, способные «пробивать» своей мощностью атмосферы других планет — мест назначения корабля, причем на это потребуется затрачивать огромную энергию, но зато в полете будут работать значительно более экономичные безбаллонные электронные генераторы, в которых будет использован вакуум космического пространства, а возможно, и «космический» холод для охлаждения электродов необыкновенного прибора.

При огромных скоростях самых совершенных, самых теоретически быстрых фотонных ракет картина резко изменится. Хотя количество частиц в межзвездном пространстве ничтожно мало, но при скоростях фотонных ракет, близких к скорости света, набегающий на ракету поток частиц будет очень велик, что будет равноценно полету в очень плотной среде, и ни о каком использовании космического вакуума не будет и речи.

В обход этой трудности, может быть, удастся воспользоваться для связи с Землей самой фотонной струей двигателя ракеты, «модулируя» ее по нашему усмотрению, и тогда, быть может, возникнет новая «радиотехника», имеющая столь же отдаленное сходство с современной нам радиотехникой, сколь современная лампа обратной волны отличается от первого искрового генератора—катушки Румкорфа.

Может быть удастся использовать космический холод для создания принципиально новых устройств, в которых будет использоваться явление сверхпроводимости, что позволит получить небывалые к. п. д. генераторов, трансформаторов, электромагнитов и других приборов.

О наземных передающих устройствах достаточно сказать лишь несколько слов.

В достижении больших дальностей важное место зани-

мает мощность передатчика. Если мощность бортового передатчика ограничена множеством факторов, таких, как вес, габариты, потребление, к. п. д., то для наземных устройств, предназначенных для обслуживания космических полетов, эти факторы отступают на задний план; поэтому с точки зрения успешной организации космической радиосвязи оправданным будет выбирать мощность наземного передатчика самой большой, какая только достижима при современном уровне развития вакуумной техники, что позволит применить более простые приемные средства на борту космического корабля.

6. ПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА

Приемник составляет одну из существеннейших частей линии радиосвязи. От его чувствительности в первую очередь зависит дальность радиосвязи. Вот почему основной параметр приемника — чувствительность — является предметом самого пристального внимания разработчиков приемной аппаратуры.

В последние годы в этой области достигнуты большие успехи. Разработаны новые типы усилителей радиочастотных колебаний, такие, как молекулярные и параметрические.

Чувствительность приемников характеризуется плотностью мощности собственных шумов, приходящейся на полосу пропускания в 1 *Мгц*. Ее обычно обозначают буквой N_0. Современные зарубежные приемники, например, характеризуются величиной N_0, равной 10^{-14}—10^{-13} *вт/Мгц*.

Возникает вопрос, а есть ли смысл увеличивать чувствительность сверх этих значений? Оказывается, есть, но только лишь до известного предела. Этого предела не было бы лишь в том случае, если бы не существовало помех от космического радиоизлучения. Уровень космических помех оказывается сравнимым с уровнем собственных шумов современных приемников.

Для случая приемной радиостанции, работающей от всенаправленной антенны и расположенной где-то на орбите Земли, уровень космического излучения, например, на частоте 250 *Мгц* лишь в 10 раз ниже собственных шумов современного приемника.

Во время солнечных вспышек интенсивность солнечных шумов возрастает в 10 и более раз. При полете к Венере, расположенной ближе к Солнцу, чем Земля, где уровень солнечных шумов будет больше, чувствительность совре-

менного приемника может быть даже излишней: все равно помехи от радиоизлучения Солнца, попадающего в приемную бортовую антенну, будут превышать уровень собственных шумов приемника.

Иначе обстоит дело в случае разработки приемников, предназначенных для работы на радиолинии, скажем, Земля — Марс или Земля — Плутон. За счет удаления от Солнца помехи от его радиоизлучения будут составлять меньшую долю всех космических шумов, и, наконец, за пределами солнечной системы уровень космических шумов будет еще меньшим. Этот малый уровень будет существовать до тех пор, пока космический корабль не станет приближаться к другой звезде. В районе других звезд радиошумы могут быть во много раз сильнее при тех же расстояниях, что и в солнечной системе. Все зависит от характера физических процессов, протекающих в той или иной звезде. Радиоастрономия в состоянии с Земли определить уровень шумового излучения той или иной звезды; таким образом, космонавты будущих межзвездных кораблей смогут заранее оценить «шумовую опасность», грозящую космической радиосвязи в предполагаемом рейсе.

Разрабатываемые теперь за границей сверхчувствительные приемники, на входе которых используются малошумящие усилители, будут, вероятно, в недалеком будущем обладать чувствительностью в 10 и более раз выше современных. После достижения такой чувствительности космические шумы станут единственным фактором, который будет ограничивать дальность действия космической линии радиосвязи. Когда будут достигнуты самые высокие чувствительности, предельные с точки зрения космических шумов, дальнейшее увеличение дальности действия космической радиолинии можно будет получать лишь за счет увеличения мощностей бортовых и наземных передающих устройств и увеличения усиления антенн.

Специфические условия, в которых находится бортовой приемник, требуют прежде всего создания малогабаритного, легкого устройства, потребляющего как можно меньше электрической энергии.

В создании таких приемников большую роль играют и будут играть полупроводниковые приборы.

Интересные и сейчас еще трудно оценимые возможности сулит использование особенностей обстановки космического пространства, в частности доступность температуры, близкой к абсолютному нулю.

Известно, что собственные шумы, возникающие в сопротивлениях, полупроводниковых электронных приборах, контурах и т. п., зависят от абсолютной температуры этих устройств, причем при температуре, равной абсолютному нулю, шумы также обращаются в нуль. Таким образом, доступность на космическом корабле температуры, близкой к абсолютному нулю, может значительно облегчить решение задачи достижения предельно необходимых чувствительностей приемников при относительной их простоте.

О наземных приемных устройствах, как и о наземных передающих устройствах, не приходится много говорить, так как наземные условия позволяют без особых ограничений строить самые совершенные и самые сложные приемники, в которых используются все достижения этой области радиотехники.

7. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ

Источники питания бортовой аппаратуры являются самым важным фактором, определяющим мощность бортового передатчика и совершенность бортового приемника, а следовательно, и возможности данной линии радиосвязи.

Основной потребитель энергии из числа радиосредств— это передатчик. Если для наземного передатчика энергетические ресурсы имеются в достатке, то для бортовых условий энергетические ресурсы, отводимые на радиосвязь и другие радиосредства, ограничены.

В лабораториях ведется интенсивная разработка новых типов источников электроэнергии. Ученые и инженеры перебирают все известные им из физики явления, сопровождающиеся появлением э. д. с.; тут и различные химические реакции, и термоэффекты, и фотоэффекты и т. п.

В результате многолетних изысканий разработано много таких устройств, которые ранее по своим принципам действия считались непрактичными.

Ивестны три первичных источника электроэнергии: химический, солнечный и ядерный.

Самым известным и давно распространенным является химический источник, зарекомендовавший себя многими преимуществами.

Химическую энергию можно преобразовать в электрическую различными путями. Преобразование энергии химической реакции происходит в гальванических элементах и аккумуляторах. Наиболее совершенными в настоящее время

являются серебряно-цинковые аккумуляторные батареи.

Химическую энергию можно преобразовать в электрическую косвенным путем через ряд промежуточных ступеней. Так, сначала осуществляется сгорание водорода в кислороде или сгорание промышленного горючего газа в атмосфере воздуха; выделяющееся при таких реакциях тепло используется различными путями. В некоторых устройствах уже в процессе сгорания возникает разность потенциалов.

В других устройствах выделившееся в результате химической реакции тепло за счет термоэлектрического эффекта Зеебека или эффекта термоэлектронной эмиссии преобразовывается в электрическую энергию.

Ниже, а также на страницах 29—33 приводятся сведения о различных устройствах и источниках электроэнергии, опубликованные в зарубежной печати.

Уже разработано устройство, способное преобразовывать более 8% тепловой энергии в электрическую. При разности температуры двух электродов 450° С с 1 *см*² поверхности электрода можно снять около 0,3 *вт*.

Термоэлектронной эмиссией называется высвобождение электронов с поверхности нагретого тела, возникающее как результат повышения кинетической энергии электронов.

Термоэлектронный элемент состоит из двух электродов, изготовленных из материалов с разными работами выхода. Электроны разделены небольшим зазором и помещены в откачанный баллон. Один из электродов — эмиттер — нагревается до высокой температуры. Эмиттированные электроны собираются внешним холодным электродом, который, таким образом, заряжается отрицательно. Так возникает разность потенциалов.

Расчет показывает, что если эмиттер сделан из вольфрама, то при температуре его на 100° С ниже температуры плавления теоретически можно получить с квадратного сантиметра поверхности электрода 1 000 *вт* при к. п. д. до 65%.

Разрабатывается также источник электроэнергии, в котором используется пироэлектрический эффект. При изменении температуры таких, например, кристаллов, как титанаты, между двумя поверхностями кристалла возникает разность потенциалов. Пироэлектрический эффект напоминает пьезоэффект.

Делаются также попытки использовать такой эффект, как пиромагнитный. Он состоит в том, что при поперемен-

ном нагревании и охлаждении магнитного материала, вызывающем изменение магнитной проницаемости, вследствие изменения магнитного потока, пронизывающего катушку, в ней возбуждается э. д. с.

Как предсказывает теория, устройства, в которых тепло преобразовывается в электроэнергию за счет пироэлектрического или пиромагнитного эффекта, должны обладать хорошим отношением мощности к весу элемента, которое, возможно, будет достигать 100 *вт/кг*.

На первых порах овладения космосом химические источники электроэнергии нашли широкое применение как испытанное средство обеспечения питанием радиотехнических устройств. Но вполне естественными были попытки использовать даровую энергию излучения Солнца. В самом деле, ведь на 1 $м^2$ поверхности Земли Солнце посылает 1 000 *вт*. Вне земной атмосферы, в непосредственной близости от Земли, излучение достигает примерно 1 400 $вт/м^2$. На Венере, расположенной ближе к Солнцу, чем Земля, поступает 2 650 $вт/м^2$, а на Марсе только 600 $вт/м^2$. Таким образом, в пределах орбит малых планет солнечной системы излучаемый Солнцем поток лучистой энергии достаточно велик, и можно его использовать для питания радиоустройств, устанавливаемых на космическом корабле.

Наиболее простым и удовлетворительным средством преобразования солнечной энергии в электрическую является кремниевый элемент. Этот твердый преобразователь не имеет вращающихся частей, в нем в процессе преобразования ничего не сгорает, ничто не требует возобновления, вот почему солнечные элементы, соединенные в солнечную батарею, являются удобными, долговечными источниками питания. Солнечные батареи показали отличную надежность.

Разработаны кремниевые элементы, обладающие коэффициентом преобразования около 10—11%. Теоретический коэффициент преобразования равен 22%. Таким образом, на поверхности Земли элемент солнечной батареи отдает около 10 $мвт/см^2$. При этом отношение мощности к весу составляет около 90 *вт/кг*. Вес одного элемента без вспомогательных деталей всего лишь 0,22 *г*, поэтому реальный вес элемента определяется весом алюминиевой рамки, соединительных проводов, противомикрометеоритной защитой и т. п.

На рис. 8 приведена зависимость напряжения холостого хода и плотности тока, отбираемого от элемента солнеч-

ной батареи, от мощности светового потока, падающего на элемент.

На рис. 9 приведена зависимость отдаваемой элементом мощности и достигаемого к. п. д. от напряжения элемента. Из рисунка видно, что наивысший к. п. д. и наивысшая мощность достигаются при напряжении около 0,5 *в*. Такое сравнительно низкое напряжение является во многих случаях неудобным. Мощность, отдаваемая одним элементом

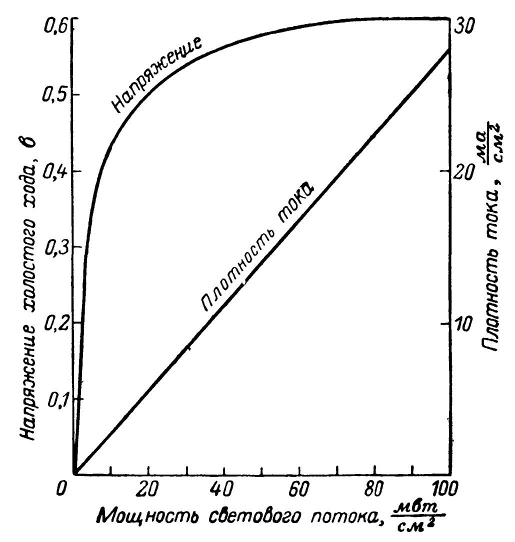


Рис. 8. Напряжение холостого хода и плотность тока, отбираемого от элемента солнечной батареи.

солнечной батареи, может быть увеличена путем концентрации солнечного света. Применив концентрацию света и вдобавок охлаждение элемента (при нагревании любого полупроводникового электронного устройства снижается его эффективность), можно добиться отдачи до 50 *мвт/см*^{2}. Разрабатываются устройства, которые должны будут отдавать до 5 *вт*.

Солнечные батареи уже успешно использовались и используются для питания маломощных передатчиков искусственных спутников Земли.

Элементы солнечной батареи, устанавливаемые на космическом корабле, должны быть защищены от микрометеоритов, которые со временем могут понизить эффективность

работы элементов, повредив их. Для защиты от разрушения микрометеоритами элементы покрывают окисью кремния.

Несмотря на некоторые преимущества солнечных батарей, их нельзя рассматривать как очень перспективный источник питания в условиях космического полета. Взять, например, полет к окраине солнечной системы, не говоря уже о межзвездных полетах. Ведь на окраине солнечной системы, там, где Солнце предстанет лишь как самая яркая звезда на небе, не приходится и говорить об использовании его лучистой энергии в качестве источника, достаточного для преобразования ее в электрическую энергию, в количествах, необходимых для питания радиосредств.

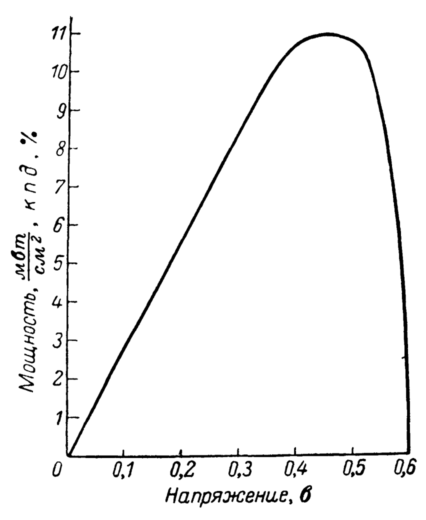


Рис. 9. Мощность и к. п. д. элемента солнечной батареи.

Это обстоятельство усугубляется еще и тем, что с удалением от Солнца мы будем удаляться и от Земли, т. е. будем вынуждены обеспечивать радиосвязь на все увеличивающееся расстояние.

Вот почему в настоящее время особое внимание привлекают источники питания, первичным источником в которых является ядерная энергия. Системы получения электроэнергии, базирующиеся на ядерной энергии, имеют весьма компактную форму. При одинаковом с химическими источниками питания весе ядерные источники могут отдавать в тысячу раз больше энергии, чем химические.

Характерной особенностью ядерных батарей является их независимость от окружающей температуры и вообще от иных воздействий внешней среды. (Параметры химических источников и солнечных батарей зависят от температурных воздействий.) Так, например, герметизированные никелево-кадмиевые аккумуляторные батареи, работающие совместно с солнечными, отдают номинальные мощности и

имеют номинальную емкость лишь в узком интервале температур от 0 до +38° С. У солнечных же батарей нагревание на 1° С сверх +25° С приводит к падению мощности на 0,3%.

Независимость свойств ядерных батарей от влияния внешней среды является неоценимым их качеством. Ядерные батареи имеют высокое отношение отдаваемой ими энергии к их весу, достигающее 2 000—11 000 *вт-ч/кг*.

К недостаткам ядерных источников следует отнести низкое отношение мощности к весу, составляющее величину порядка 0,9—2,2 *вт/кг*. Кроме того, крупным недостатком является факт непрерывности ядерных процессов; иными словами, ядерную батарею трудно «выключить», ее можно лишь заэкранировать, но выключить, прекратить ядерные процессы нельзя. Таким образом, энергетические возможности ядерной батареи полностью не используются, если, конечно, ее не эксплуатируют непрерывно. Ядерные источники дают корпускулярное и тепловое излучения, требующие надежного экранирования, особенно если на космическом корабле должен находиться человек. Отвод избыточного тепла может в условиях космического корабля оказаться очень трудной проблемой. Излучения, сопутствующие ядерной батарее, могут оказать вредное воздействие на некоторые устройства и на постановку некоторых экспериментов.

Низок к. п. д. современных ядерных источников — порядка 0,5—5%.

Ядерные источники электроэнергии можно классифицировать на два основных вида: на источники, в которых используется энергия, высвобождающаяся при распаде радиоактивных изотопов, и на источники, в которых используются ядерные реакторы. Мощность на выходе ядерного реактора сравнительно постоянна во времени, и выделяющаяся при работе реактора тепловая энергия может быть преобразована в электрическую различными способами. Но пока ядерные реакторы громоздки, источники энергии, имеющие в своей основе ядерный реактор, еще не могут считаться пригодными для использования на космических кораблях.

Ядерные источники первого вида могут найти успешное применение в тех случаях, когда требуется очень малая мощность при сравнительно высоких напряжениях. Так, разработаны ядерные батареи, от которых можно получать токи всего лишь порядка 10^{-10} *а* при напряжениях в едини-

цы киловольт. Поскольку мощность ядерной батареи падает с ослаблением интенсивности распада радиоактивного изотопа, постольку срок службы такой батареи характеризуется временем полураспада, т. е. тем временем, за которое первоначальное количество изотопа уменьшается вдвое.

Наиболее перспективным типом ядерной батареи считается батарея с постоянным разрядным током. В элементах такой батареи электроны, с большой скоростью вылетающие из ядер радиоактивного изотопа, проникают в изолирующую среду и собираются внешним проводящим электродом, который заряжается при этом отрицательно.

Имеются ядерные батареи, в которых применяются различные эффекты вроде фотоэффекта. Разработаны, например, батареи, в которых радиоактивный материал облучает фосфор. В нем ядерная энергия преобразуется в световую, а она в свою очередь с помощью небольшого кремниевого элемента преобразуется в электроэнергию.

Радиоизотоп используется как концентрированный источник тепла для преобразования тепловой энергии в электрическую на основе упомянутых эффектов, таких, как термоэлектрический, термоэлектронный, пироэлектрический и т. п.

Разработан ядерный элемент, в котором источником тепла является радиоизотоп полоний-210, а электричество получается в результате использования термоэлектрического эффекта, возникающего в месте соединения сплава свинца и теллура. При радиоактивности 3 000 кюри элемент генерирует 5 *вт* при к. п. д. 8—10%. Вес элемента 2,3 *кг*, срок службы (время полураспада полония-210) равен 138 дням, т. е. через 138 дней элемент будет в состоянии отдавать лишь 2,5 *вт*.

Ведется разработка более мощных типов подобных источников питания. Вообще же в ближайшие годы ожидается значительный прогресс в области создания ядерных источников питания. Для наглядного сравнения источников питания в табл. 3 сведены преимущества и недостатки трех основных видов их.

Сказанное об источниках питания приводит нас к заключению, что в настоящее время проблема питания бортовых радиотехнических устройств еще далека от полного разрешения. На борту современного космического корабля ощущается острый энергетический голод, преодоление которого абсолютно необходимо для успешного продвижения вперед, все дальше в глубины Вселенной.

Таблица 3

Сравнение источников питания

	Вид источника		
	Химические	Ядерные	Солнечные
Преимущества	Высокое отношение мощности к весу; надежность, управляемые разряд и время разряда; дешевизна	Высокая плотность энергии; независимость от температуры и других внешних воздействий	Даровая энергия; неиссякаемость источника; длительность срока службы; высокое отношение мощности к весу
Недостатки	Высокое отношение веса к энергии; зависимость от температуры; ограниченный срок службы	Требуется надежная экранировка; проблема рассеяния тепла; высокая стоимость изотопов; неуправляемость	Необходимость ориентации на источник света; требуется совместная работа с аккумулятором

Как будет преодолеваться энергетический голод на борту космического корабля, покажет будущее. Сейчас можно лишь предположить, что по мере роста дальностей полета, т. е. в меру увеличения потребностей во все более протяженных линиях радиосвязи, будет развиваться энергетическая основа корабля и увеличиваться мощность двигателей, а значит, и энергетическая база двигателей. Неизбежный рост скоростей корабля будет возможен с появлением на борту ядерных реакторов.

Как известно, уже теперь ведется интенсивная разработка подходов к управлению термоядерными реакциями, сулящая создание миниатюрных подчиняющихся воле человека солнц. Дальнейшее продвижение физики и техники вперед сулит создание ядерных источников энергии, высвобождающейся при обычных, а не сверхвысоких температурах. Тогда, по- видимому, станет возможным сооружение фотонной ракеты. А каковы потребности в энергии в случае фотонной ракеты, покажет следующий числовой пример. Для того чтобы развить тягу двигателя фотонной ракеты всего лишь 2—2,5 *т*, потребуется подвести мощность порядка миллиардов ватт. Вероятно, для такого сверхмощного источника энергии, который будет питать двигатель тяжелой фотонной ракеты, не будет ущербным «отпустить» на нужды радиосвязи каких-нибудь три-четыре десятка мегаватт.

Итак, можно выразить уверенность в том, что энергетический голод на борту космического корабля будет преодолен, но это будет одновременно означать появление таких источников энергии, которые будут способны разогнать ракету до гигантских скоростей, соизмеримых со скоростью света.

8. ОРГАНИЗАЦИЯ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОСВЯЗИ

Если организация надежной дальней радиосвязи на Земле — дело очень сложное, то можно себе представить, сколь сложным должно являться дело организации космической радиосвязи. Трудности прежде всего состоят в том, что на первых порах развития космонавтики на космическом корабле не будет человека и бортовая аппаратура должна быть очень надежной. В настоящее время нет возможности установить на борту мощные передатчики, сложные чувствительные приемники и большие антенны.

Как же можно преодолеть все эти трудности?

Пока нельзя уравнять качество обоих корреспондирующих пунктов, приходится строить их так, чтобы при передаче с Земли малая полезная площадь приемной бортовой антенны и недостаточная чувствительность бортового приемного устройства компенсировались большой мощностью наземного передатчика и большим коэффициентом направленного действия наземной антенны.

При передаче с борта малая мощность бортового передатчика и малый коэффициент направленного действия бортовой антенны должны компенсироваться высоким коэффициентом направленного действия наземной антенны и высокой чувствительностью наземного приемника.

Иными словами, наземный пункт связи должен быть оснащен самой первоклассной, самой мощной, самой усовершенствованной аппаратурой.

Бортовой пункт связи должен быть оснащен в соответствии с его энергетической базой и подъемной силой космического корабля.

Очень трудной задачей организации космической радиосвязи является поддержание корреспондирующих пунктов на линии прямой видимости. Мы уже знаем о противоречии, характерном для антенных устройств. Большое усиление (большой коэффициент направленного действия) антенны неизбежно соответствует чрезвычайно узким

пучкам излучаемых радиоволн. Но при узком пучке, являющемся той «дорожкой», по которой и осуществляется связь, очень легко случайно сойти с нее, выйти из зоны облучения. Поэтому приходится, помимо основной узконаправленной антенны, применять антенны с широкой диаграммой, с большим обзором, т. е. более широкой «дорожкой», которая облегчала бы поиск корреспондента при вступлении в связь.

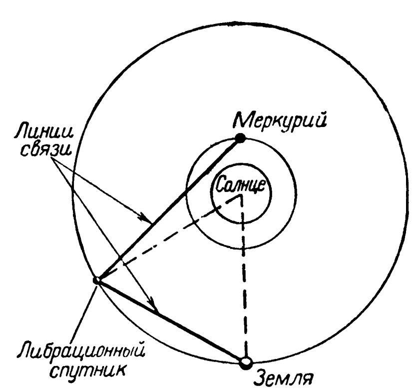


Рис. 10. Организация связи с Меркурием во время его затмения Солнцем.

В некоторых случаях потеря прямой видимости, а значит, и связи может произойти вполне закономерно. Разберем, например, такой случай, как связь между Землей и Меркурием при его затмении Солнцем. На рис. 10 приведена схема взаимного расположения Земли, Солнца и Меркурия. Связи по прямой, соединяющей Землю с Меркурием, не будет длительное время по двум причинам: во-первых, из-за отсутствия прямой видимости и, во-вторых, из-за сильного поглощения радиоволн в фотосфере Солнца. Здесь на помощь может прийти создание искусственного спутника, расположенного в точке либрации системы Солнце — Земля.

В системах двух небесных тел, например, Земли и Луны, есть замечательные точки, получившие название точек либрации. Тело, оказавшееся в такой точке, будет занимать относительно Земли и Луны неизменное положение, образуя своеобразный космический буй.

В системе Солнце — Юпитер обнаружены два семейства астероидов, которые очутились в точках либрации. Эти семейства называют Троянами. Если на либрационном спутнике системы Земля — Солнце установить ретрансляционную станцию, то, как это видно из рис. 10, связь может поддерживаться все время.

Радиосвязная аппаратура призвана обеспечить полет всеми видами связи: телефонной, телеграфной, фототелеграфной и телевизионной. Подобная связь должна быть

обеспечена как с пунктами вылета и назначения, так и с промежуточными станциями и космическими кораблями в полете.

При анализе проблем, с которыми должна встретиться радиотехника в деле обеспечения радиосвязью, прежде всего поражают фантастические дальности действия линий радиосвязи.

Дальнюю радиосвязь можно осуществлять различными путями. Прямой путь — это обеспечение корабля и наземной станции такими мощными генераторами электромагнитных колебаний, такими громадными антеннами и сверхчувствительными приемниками, что заданная дальность радиосвязи при требуемой ширине полосы пропускания будет, казалось бы, надежно обеспечена. Но мы уже знаем, что ряд факторов ограничивает дальность действия радиолинии. Напомним некоторые из них. Во-первых, собственные шумы космического пространства (радиоизлучение звезд, галактик, межзвездного газа и т. п.), а также шумы, создаваемые «землей» наземной или другой планетной станции, ограничивают возможности повышения чувствительности радиоприемных устройств. Во-вторых, если говорить о наземной приемной радиостанции или приемной станции, сооруженной на любой другой планете, обладающей атмосферой, то для наибольших размеров приемных антенн таких станций существует определенный предел, свой для той или иной планеты и для той или иной длины волны, выше которого увеличивать размеры нет смысла. Это связано с тем, что вследствие фазовых искажений волнового фронта, вызываемых атмосферой, находящейся обычно в состоянии непрерывного движения, площадь антенны не может быть использована полностью. Так, например, подсчитано, что для частоты колебаний 10 000 *Мгц* (длина волны 3 *см*) наибольший диаметр параболоида в условиях земной атмосферы равен 150 *м*.

Таким образом, даже если допустить, что нет других ограничивающих дальность факторов, то и перечисленных вполне достаточно, чтобы задуматься об иных путях увеличения дальности радиосвязи.

Если от космического радиоизлучения принципиально невозможно избавиться, то вредное влияние атмосферы планеты вполне можно уменьшить путем организации промежуточных трансляционных пунктов на искусственных спутниках или других планетах, не обладающих атмосферой. Удобным в этом отношении пунктом будет Луна.

В более отдаленном будущем надо будет, по всей вероятности, строить радиоретрансляционные пункты на планетах планетных систем других звезд.

При организации космической радиосвязи следует учитывать возможность потери радиосвязи на более или менее длительное время либо из-за каких-то неизвестных нам пока эффектов сильного поглощения радиоволн, либо при потере прямой видимости между космическим кораблем и Землей или иной базой или другим космическим кораблем. В связи с этим возникает потребность в запоминании информации и отправке ее при более благоприятной обстановке.

Уже приобретен достаточно большой опыт в технике накопления информации с помощью магнитной записи, причем разработаны способы записи на магнитную ленту не только звуковых сигналов, но также и изображений.

Накопление (запоминание) информации может потребоваться и в других случаях, например тогда, когда информация поступает прерывисто; ее записывают, а затем в промежутках между поступлениями новой информации передают при пониженной скорости. Это дает выигрыш в дальности действия линии, поскольку при меньшей скорости передачи требуется более узкая полоса пропускания всего радиотракта, а значит, и радиоприемного устройства. Но чем у́же полоса пропускания приемника, тем меньше шумов пройдет в канал связи, что означает улучшение отношения сигнал/шум, т. е. это приведет к улучшению различимости сигнала при меньшей мощности передатчика или большей дальности действия.

Если, например, сигнал, длящийся 1 *сек*, записать и потом передавать в течение 1 *мин*, то отношение сигнал/шум возрастет в 60 раз, а значит, дальность действия увеличится почти в 8 раз.

9. РАДИОЛОКАЦИОННАЯ АППАРАТУРА

Радиолокация существует сравнительно недолго, но в этой области техники накоплен столь богатый опыт, что есть все основания предполагать обеспечение ею в процессе дальнейшего развития эффективного обслуживания космических полетов всеми радиолокационными службами. Задачи, стоящие перед космической радиолокацией, очень сложны.

Радиолокационная аппаратура прежде всего должна

оградить корабль от столкновения с крупными метеорами, с другими космическими кораблями, с искусственными спутниками, с промежуточными космическими станциями и т. п. Радиолокационная аппаратура будет решать отчасти и навигационные задачи; в частности, с помощью радиолокационной аппаратуры можно будет определять расстояние до места назначения, «высоту» космического корабля над небесным телом, на которое совершается посадка.

Рассмотрим подробнее проблему дальнего обнаружения метеора с массой всего лишь 0,5 *кг*. Такой метеор при относительной скорости 10 *км/сек* способен вызвать серьезное повреждение или даже гибель корабля. При все увеличивающихся длительностях полета вероятность встречи корабля с такими метеорами будет возрастать. Это значит, что надо считаться с возможностью встречи с опасными для корабля метеорами.

Но что означает локация метеора с массой 0,5 *кг*? Эффективная отражающая поверхность таких метеоров составляет всего около 0,01 $м^2$. Предположим, что на борту космического корабля имеется весьма совершенная радиолокационная станция, работающая на волне 4 *мм*; мощность ее равна 100 *квт*, площадь антенного зеркала равна 1 $м^2$, коэффициент шума приемника равен 6 *дб*.

Пусть относительная скорость движения корабля и метеора равна 60 *км/сек*. При такой большой скорости и высокой несущей частоте, необходимой с точки зрения достижения большой дальности, эффект Допплера будет давать смещение частоты, равное 15 *Мгц*. Следовательно, для успешного слежения за метеором должна быть предусмотрена полоса пропускания не менее 15 *Мгц*. При этих данных метеор можно будет обнаружить лишь на очень близком расстоянии порядка 40 *км*. Это означает, что на обнаружение метеора, определение его курса, выполнение необходимых вычислений и маневрирование — изменение курса корабля с целью уклонения от встречи с метеором — останется меньше 1 *сек*!

В настоящее время трудно себе представить, что выполнение всех этих операций вообще возможно, поскольку инерционность корабля сама по себе вряд ли позволит столь быстро изменять курс.

Даже тогда, когда масса метеора достигает 500 *кг*, а эффективная площадь отражения увеличивается всего лишь до 1 $м^2$, дальность обнаружения возрастает всего до 500 *км*, что также является недостаточным.

Что касается предотвращения столкновения с другими космическими кораблями, с искусственными спутниками и т. п., то эта задача может быть успешно решена за счет применения ответчиков. При такой системе радиолокационного обнаружения каждый космический корабль, космическая станция могут быть снабжены специальной аппаратурой, которая при приеме зондирующего (запрашивающего) импульса автоматически вырабатывала бы ответный импульс, который излучался бы в сторону запрашиваемого корабля. Считается, что такая система позволит обнаружить приближение другого объекта с расстояний порядка 300 000 *км*, а это при скоростях порядка десятков километров в секунду будет достаточным для своевременного принятия необходимых мер.

В более отдаленном будущем, когда скорость космического корабля будет все увеличиваться, придется искать каких-то новых средств защиты от столкновений.

10. РАДИОНАВИГАЦИОННАЯ АППАРАТУРА

В космическом полете на радионавигационную аппаратуру падает очень значительная часть задач, которые решаются с помощью радиотехники. Эти задачи особенно усложнены на первых порах освоения космоса, когда приходится запускать беспилотные автоматические ракеты, т. е. при условиях, в которых некому сознательно вмешаться в процесс полета, выровнять курс корабля, учесть возмущения, вызванные пролетом вблизи массивных небесных тел, и т. п.

Космическая радионавигация весьма существенно отличается от наземной или приземной радионавигации. В случае наземной радионавигации точка приведения самолета, корабля и т. п. обычно неподвижна относительно точки старта. В космосе же тела никогда не находятся в относительном покое, они вечно движутся, взаимные расстояния между ними все время изменяются. Вот почему космическая радионавигация может выполнять свои функции лишь в тесном контакте с астрономией — наукой, способной достаточно точно предвычислить взаимное расположение небесных тел в тот или иной момент времени.

Радионавигационная аппаратура как наземная, так и бортовая призвана решать задачи выведения космического корабля на расчетную траекторию, давать информацию в полете об отклонениях корабля от заданного курса, обеспечивать точное приведение корабля в пункт назначения.

Определение места корабля в пространстве может выполняться различными способами, в частности с помощью радиопеленгаторов, т. е. таких устройств, с помощью которых можно измерять координаты (линейные и угловые) относительно выбранной начальной точки, например относительно пункта старта корабля.

В настоящее время отдается предпочтение таким системам определения места корабля в пространстве, которые связаны с измерением угловых координат, причем само измерение углов ведется так называемым фазовым методом.

На поверхности Земли на некотором расстоянии друг от друга, называемом базой, располагают два приемных пункта. При расположении космического корабля точно на направлении, перпендикулярном к базе (рис. 11), обе волны, распространяющиеся одна по пути L_1, а другая — по пути L_2, будут проходить одинаковое расстояние, и поэтому между ними не будет сдвига фаз колебаний. Если же корабль отклонится от перпендикулярного к базе направления, то появится разность фаз, пропорциональная синусу угла отклонения θ (рис. 12).

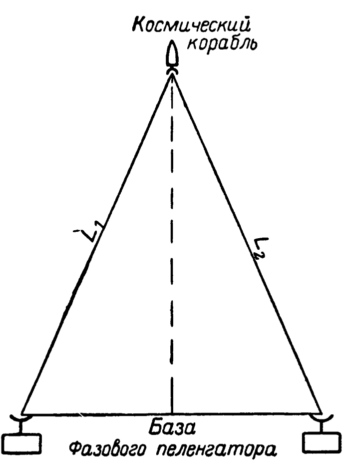


Рис. 11. Фазовый пеленгатор; корабль летит точно по курсу.

На рис. 13 приведена блок-схема фазового пеленгатора, с помощью которого можно осуществлять измерение разности фаз двух волн, а значит, и угловую координату. Построив три таких фазовых пеленгатора, можно будет определять положение космического корабля в пространстве по отношению к выбранному началу координат.

Оказывается, что чем больше база радиопеленгатора, тем с большей точностью можно выполнить измерение угла. А с увеличением дальности полета требования к точности измерения угловых координат будут возрастать. Поэтому в перспективе — строительство фазовых пеленгаторов с очень большой базой. В принципе можно говорить об осуществлении системы измерения угловых координат с фантастически большой базой, простирающейся, напри-

мер, от Земли до искусственного спутника или даже до Луны, а может быть, и между двумя искусственными спутниками. При таких базах можно будет достичь небывалых точностей измерения угловых координат, а следовательно, обеспечить успешное решение значительной части задач

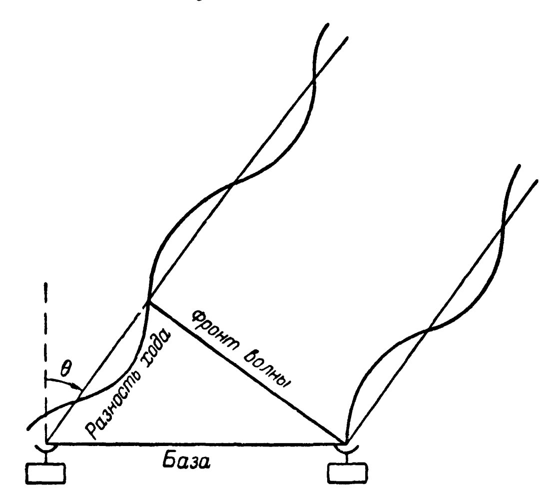


Рис. 12. Фазовый пеленгатор; корабль отклонился от курса на угол θ.

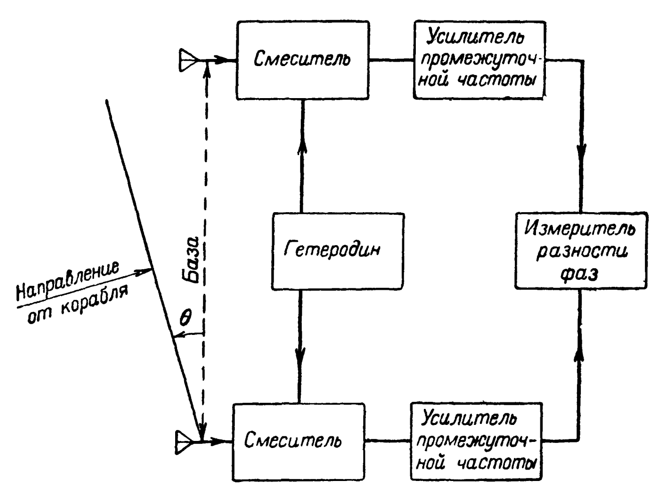


Рис. 13. Блок-схема фазового пеленгатора.

управления космическими кораблями, отправляющимися в далекие путешествия.

Определение величины и направления вектора скорости необходимо для расчетов, которые позволили бы судить о ходе выполнения полетного задания.

Абсолютную величину вектора скорости проще всего измерить путем использования эффекта Допплера. Как известно, при перемещении источника колебаний относительно наблюдателя частота колебаний будет уменьшаться при удалении источника и увеличиваться при приближении источника к наблюдателю. Зная абсолютное значение частоты колебаний бортового передатчика в точке старта и частоту во время движения, можно определить его скорость. Точность подобных измерений может быть очень высокой, а ценность этого способа измерений состоит в том, что можно получать информацию о скорости корабля непрерывно.

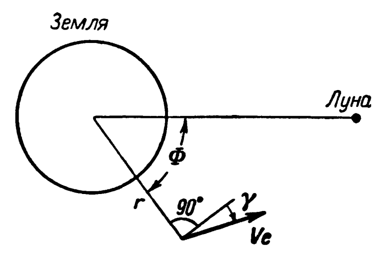


Рис. 14. Система координат, в которой определяются начальные условия полета лунной ракеты.

По мере увеличения скоростей космических кораблей этот способ измерения скорости будет все более эффективен, так как все бóльшим будет сдвиг частоты.

Для уяснения тех точностей измерения координат и скоростей, с которыми уже теперь приходится иметь дело, приведем следующий пример.

Пусть требуется запустить лунную ракету с поверхности Земли. На рис. 14 приведена система координат, в которой определяются начальные условия полета. Так, например, при $V_e = 10{,}5$ *км/сек*, $\gamma = 14{,}2°$, $\Phi = 108°$, $r = 6\,900$ *км* попадание на видимую часть Луны будет обеспечено лишь в том случае, если вектор скорости выдержан с погрешностью, не превышающей по величине ± 12 *м/сек*, а по углу γ не более $\pm 0{,}25°$.

При анализе погрешностей выведения космического корабля на расчетную траекторию обнаруживается, что можно в некоторых пределах уменьшить угловую точность за счет повышения точности выдерживания заданной скорости и, наоборот, можно снизить точность по скорости за счет увеличения точности по углу.

На рис. 15 приведена типичная зависимость, показывающая, как связаны погрешности по углу и скорости для двух случаев полета к Луне. Из рисунка видно, как вообще малы допустимые погрешности по углам и величине вектора скорости и как они резко снижаются при усложнении полетного задания.

С увеличением дальности полетов беспилотных космических кораблей точности, предъявляемые к выполнению

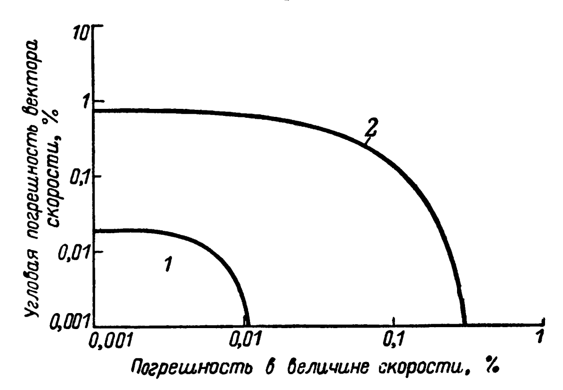


Рис. 15. Максимально допустимые погрешности по углу и величине вектора скорости автоматического космического корабля в точке выключения двигателя.

1 — область погрешностей, при которых попадание выполняется с промахом, меньшим 160 *км*; *2* — граница областей погрешностей, при которых обеспечено попадание на Луну.

полетного задания, будут расти, а с ними будут возрастать и трудности их реализации. Так, например, для полета на Марс допустимая погрешность по углу должна быть примерно в 100 раз меньше!

По этим причинам значительное увеличение дальности полета беспилотных космических кораблей, в которых не предусмотрено введение поправок при отклонении от заданной траектории, по-видимому, имеет не очень большую перспективу. На космическом корабле должен появиться человек — штурман космического корабля, который с помощью сложнейших автоматических, электронно-счетных радионавигационных и радиолокационных устройств будет в состоянии быстро определять отклонение корабля от расчетного курса и вносить необходимые поправки.

Задача приведения корабля в пункт назначения будет

решаться, в частности, с помощью аппаратуры, напоминающей приборы слепой посадки самолета. В первую очередь здесь свою роль сыграет радиолокационный дальномер, который позволит непрерывно измерять расстояние до поверхности планеты — места назначения.

11. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОТЕХНИКИ И КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ НА БЛИЖАЙШИЕ ГОДЫ

В связи с тем, что ядерная энергетика и техника управляемых ядерных реакций только начинают зарождаться, ближайшие годы не сулят еще решения задачи создания компактной промышленной ядерной установки, пригодной для эксплуатации на космическом корабле. Пока нет оснований предполагать осуществимость скоростей полета, значительно превышающих десятки километров в секунду. А это значит, что время, затрачиваемое на достижение дальних планет солнечной системы, будет измеряться годами.

Например, для достижения орбиты самой отдаленной планеты — Плутона, расположенного от Земли как минимум на расстоянии 4,25 млрд. *км*, при равномерной на всем пути коробля скорости 22,5 *км/сек* потребуется 6 лет!

Здесь обнаруживается еще одна интересная особенность организации космической радиосвязи. Состоит она в том, что время, которое будет уходить на достижение космическим кораблем своего места назначения, становится соизмеримым со временем, требуемым на развитие техники связи, на создание новых, еще более совершенных наземных средств радиосвязи.

Вырисовывается следующая картина. Можно запустить космический корабль, не имея еще необходимых наземных средств, обеспечивающих связь на всю дистанцию, а тем временем, пока корабль совершает свой полет, заняться усовершенствованием наземной аппаратуры, антенных устройств — времени хватит!

Приведенный пример с полетом на Плутон показывает, что если бы сегодня туда отправился космический корабль, то первые год-два не потребовалось бы обеспечения связи на чрезвычайно большие расстояния. Более того, даже если бы сегодня существовал корабль, который отправился к Проксиме созвездия Центавра, нашей ближайшей соседке по Галактике, со скоростью, близкой к скорости света, то и тогда радиоспециалисты располагали бы по

крайней мере 4 годами на усовершенствование наземных радиосредств, необходимых для перехвата сообщения, отправленного кораблем с полпути.

Итак, на усовершенствование наземных радиосредств времени достаточно. Что касается развития бортовой аппаратуры, то по сообщениям иностранной печати его можно представить себе примерно в следующем виде:

	1958 г.	1960 г.	1962 г.
Мощность передатчика, *вт*	0,1	10	100
Усиление антенны	4	40	4 000
Шумовая температура, °К	2 000	400	40

Поскольку средняя шумовая температура космического радиоизлучения порядка 30—50° К, то значит, уже к 1962 г. предполагается достигнуть предельно необходимой чувствительности бортовых радиоприемников.

Как мы видим, перспектива развития космической радиотехники на ближайшие годы предполагает высокие темпы. Только 4 октября 1957 г. человек успешно померился силой с притяжением Земли, в будущем он совершит еще один скачок — он научится летать вдогонку свету; и если перегнать свет не дано, то по крайней мере бежать «по пятам» — теоретически возможно.

И тогда будет открыт путь к звездам!

Продолжительность жизни человека ограничена, а стремление проникнуть все дальше и дальше от Солнечной системы будет нарастать по мере успешного продвижения космических кораблей в глубь Вселенной.

Желание посетить отдаленные миры, где, может быть, будущие космонавты обнаружат высокоразвитые существа, подобные человеку, будет неодолимо. Кто знает, может быть на тех еще неведомых нам планетах жизнь ушла далеко вперед...

Все это потребует отправки космических кораблей в такие далекие области Вселенной, свет от которых доходит до нас за сотни и тысячи лет.

Но если свет доходит за сотни лет, то как же человек с его коротким веком сможет отважиться пуститься в такие путешествия?

Теория относительности Эйнштейна указала на принципиальный выход из, казалось бы, непреодолимого тупика. Оказывается, что время, течение всех процессов, в том числе и биологических, зависят от скорости движения, причем Эйнштейном открыт математический закон, согласно которому время на космическом корабле, способном на-

брать скорость, соизмеримую со скоростью света, будет течь тем медленнее, чем ближе скорость корабля к скорости света.

Допустим, например, что космический корабль отправился к одной из ближайших к Земле звезд, к Толиману, расположенному на расстоянии 4,55 световых лет. Пусть корабль удаляется с постоянным ускорением, равным 10 *м/сек*^{2}. Такое ускорение человек может переносить длительное время. На половине пути пусть знак ускорения изменяется на противоположный, т. е. первую половину пути корабль летит равноускоренно, а вторую — равнозамедленно. Расчет, выполненный согласно теории относительности, показывает, что в то время как на Земле пройдет 6,7 года, экипаж корабля проживет лишь 3,66 года. При полете к Толиману на полпути скорость корабля должна достигнуть 0,96 скорости света.

Еще более поразительным является результат расчета полета корабля к туманности в созвездии Андромеды. Если сохранить те же условия полета, т. е. то, что первую половину пути корабль летит равноускоренно с ускорением 10 *м/сек*^{2}, а вторую половину пути — равнозамедленно с ускорением — 10 *м/сек*^{2}, то экипаж такого корабля, достигнув Андромеды, проживет всего лишь около 27 лет, но по часам Земли пройдет ... 1,34 млн. лет!

Даже в случае осуществления таких полетов стоит призадуматься над их практическим смыслом, если по возвращении на Землю экипаж, состарившийся всего лишь на 54 года, найдет, что там прошло 2,68 млн. лет!

Достижение скоростей, соизмеримых со скоростью света, — задача очень трудная. Но мало достигнуть этих скоростей, надо будет преодолеть грозные явления, которые будут, очевидно, возникать при столь огромных скоростях. Уже теперь можно предсказать некоторые из опасностей, грозящих астронавтам, летящим в фотонной ракете со скоростями, близкими к скоростям света.

Вот одна из них. Космическое пространство заполнено частицами, на каждый кубический сантиметр приходятся 3—4 частицы. Подсчитано, что если скорость фотонной ракеты достигнет 99,9999% скорости света и если предположить, что на пути встречается всего одна частица в кубическом сантиметре, а поперечное сечение ракеты равно 10 *м*^{2}, то за счет огромной величины скорости набегания частиц на корабль возникнут эффекты, эквивалентные непрерывному взрыву атомной бомбы.

В области радиосвязи при полетах со скоростями, соизмеримыми со скоростью света, т. е. со скоростью распространения радиоволн, возникнут своеобразные эффекты, которые также приведут к ограничениям в деле организации надежной радиосвязи. Когда корабль будет, например, удаляться от Земли со скоростью, близкой к скорости света, то истинное излучение в сторону Земли будет значительно ослаблено в сравнении с тем уменьшением, которое было бы обязано лишь одному увеличению расстояния.

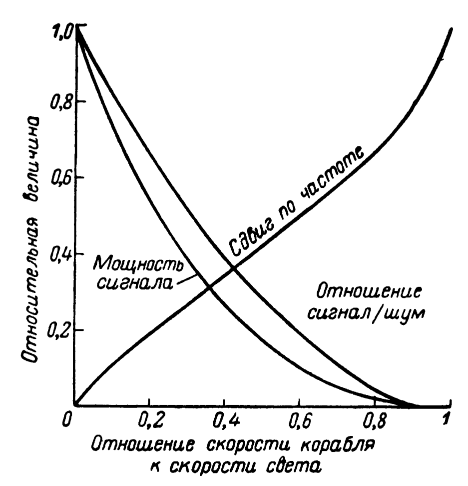


Рис. 16. Влияние скорости удаляющегося от Земли корабля на мощность принимаемого сигнала, сдвиг по частоте (эффект Допплера) и отношение сигнал/шум.

Сильный эффект Допплера будет приводить к тому, что информация будет поступать со значительно сниженной скоростью. Голос, например, будет звучать так, как будто бы запись его, сделанная при нормальной скорости, воспроизводится на очень низкой скорости.

На рис. 16 приведены изменение мощности сигнала, допплеров сдвиг по частоте и отношение сигнал/шум в зависимости от отношения скорости удаляющегося от Земли космического корабля к скорости света.

В заключение можно выразить уверенность, что никакие препятствия не остановят прогресса в области космических полетов. Подобно тому как альпинисты, достигнув одной вершины, обращают свои взоры к соседней, еще более высокой и еще более неприступной, космонавты останутся верными человеческой природе: как только первый космический корабль сделает посадку в покрытой вечным мраком ледяной пустыне Плутона, мысленно они уже будут совершать прыжок к Проксиме, к звездам.

ЛИТЕРАТУРА

Хайкин С. Э. и Кайдановский Н. Л., Новый радиотелескоп высокой разрешающей силы, «Приборы и техника эксперимента». 1959, № 2.

Зенгер Е., К механике фотонных ракет, Изд. иностранной литературы, 1958.

Рябинкин Ю. С., Современные высокочастотные транзисторы, «Успехи физических наук», 1958, № 8.

Кларк А., Межпланетные путешествия — задача ближайшего будущего, «Курьер» (Юнеско), 1957, № 11.

Каструччио П. А., Связь и навигация при межпланетных полетах, «Зарубежная радиоэлектроника», 1958, № 7.

Бургесс Э., К границам пространства, Изд. иностранной литературы, 1957.

Беляев Н. А, Рефракция внеземного радиоизлучения в атмосфере, «Астрономический журнал», 1955, вып. 4.

Кушнеревский Ю. В., В верхних слоях атмосферы, «Наука и жизнь», 1957, № 3.

Шкловский И. С., Космическое радиоизлучение, Гостехиздат, 1956.

Цена 1 р. 20 к.

С 1/I 1961 г. цена 12 коп.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ СЛЕДУЮЩИЕ ВЫПУСКИ:

С. К. Сотников, Сверхдальний прием телевидения, 94 стр., 100 000 экз., ц. 2 р. 20 к., вып. 372.

В. Г. Лугвин, Радиолюбительские конструкции транзисторных приемников, 80 стр., тираж 100 000 экз., ц. 1 р. 80 к., вып. 373.

Л. И. Куприянович, Карманные радиостанции (изд. 2-е переработанное), 48 стр., тираж 75 000 экз., ц. 1 р. 10 к., вып. 374.

Б. З. Михлин, Высокочастотные емкостные индуктивные датчики, 72 стр., тираж 45 000 экз., ц. 1 р. 60 к., вып. 375.

Е. А. Детков, Простой любительский магнитофон, 24 стр., тираж 100 000 экз., ц. 50 коп., вып. 376

Г. П. Самойлов, Ремонт развертывающих устройств телевизоров, 104 стр., тираж 100 000 экз., ц. 2 р. 30 к., вып. 377.

П. А. Попов, Расчет транзисторных усилителей звуковой частоты, 104 стр., тираж 60 000 (1-й завод 10 000 экз.), ц. 2 р. 30 к., вып. 378.

Т. И. Изюмова и **В. Т. Свиридов,** Полые и ленточные радиоволноводы, 96 стр., тираж 32 000 экз., ц. 2 р. 20 к., вып. 379.

И. П. Жеребцов, Основы электроники (учебная серия), 608 стр., тираж 100 000 (1-й завод 20 000 экз.), ц. 15 р. 40 к., вып. 380.

Е. М. Мартынов, Электронные устройства дискретного действия, 128 стр., тираж 40 000 экз., ц. 3 руб., вып. 381.

ПЕЧАТАЮТСЯ

И. Я. Брейдо, Ламповые усилители сигналов постоянного тока.

С. Е. Загик и Л. И. Капчинский, Приемные телевизионные антенны.

Г. Б. Богатов, Как было получено изображение обратной стороны Луны.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ заказов на книги не принимает и книг не высылает. Книги, выходящие массовым тиражом, высылают наложенным платежом без задатка отделения «КНИГА-ПОЧТОЙ».

ЗАКАЗЫ можно направлять. г. **Москва, В-218, 5-я Черемушкинская, 14, Книжный магазин № 93 «Книга — почтой».**

РЕКОМЕНДУЕМ заказывать литературу только по плану текущего года. Книги Массовой радиобиблиотеки расходятся очень быстро, и поэтому выпуски прошлых лет давно уже все распроданы.

ВЫСЫЛКУ КНИГ наложенным платежом производит также **магазин технической книги № 8 «Книга — почтой», Москва, Петровка, 15.**